

НАКОПЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В МИКРОБНЫХ МАТАХ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ КАМЧАТКИ

Е.Г. Калитина, к.б.н., с.н.с., Н.А. Харитонова, д.г.-м.н. доц., Н.В. Зарубина, н.с.

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

690022, г. Владивосток пр-т 100 лет Владивостоку 159, тел (4232) 231-87-50

E-mail: microbiol@mail.ru

Аннотация: Для различных гидротерм Камчатки показана способность микробных матов накапливать различные микроэлементы и формировать минералы. Для микробных матов Начикинских источников показано наибольшее накопление кобальта и ванадия, для матов Малкинских терм отмечено наиболее высокое концентрирование бериллия и кобальта, в Верхне-Паратунских микробных матах выявлено максимальное накопление кобальта и скандия. В микробных сообществах больше всего происходило осаждение кварца и кальцита.

Abstract: For various hydrotherms of Kamchatka, the ability of microbial mats to accumulate various trace elements and form minerals is shown. The highest accumulation of cobalt and vanadium is shown for the microbial mats of the Nachikinskii springs, the highest concentration of beryllium and cobalt is noted for the mats of the Malkinkie term, the maximum accumulation of cobalt and scandium is revealed in the Verchne-Paratunskie microbial mats. In the microbial communities, precipitation of quartz and calcite took place most of all.

Горячие источники Камчатки являются естественной средой обитания термофильных микробных сообществ. Микроорганизмы в термальных источниках играют важную роль в геохимическом круговороте веществ, используя широкий спектр элементов, в процессе жизнедеятельности, они приводят в движение биогеохимические циклы, которые намного превосходят по скорости неорганические реакции (Лазарева и др, 2012). Исследование микробных сообществ, ассоциированных с высокотемпературными экологическими нишами, является актуальным и представляет интерес, поскольку значительно расширяет представление о распространении, структуре, разнообразии термофильных прокариот и водорослей. Так как данные о накоплении микроэлементов микробными матами в литературе отсутствуют, целью работы было изучить степень накопления микроэлементов и минералообразование микробными сообществами, формирующимися в Начикинских, Малкинских и Верхне-Паратунских термальных источниках Камчатки.

Пробы воды и микробных матов отбирали в августе 2015 года в источниках Малкинский (N 53°19'19"; E 157°32'18"), Начикинский (N 53°07'15"; E 157°47'58") и Верхне-Паратунский (N 52°49'254"; E 158°09'483"), расположенных на полуострове Камчатка.

При проведении полевых работ нестабильные показатели химического состава pH, NO₃, HCO₃, минерализация и температура измерялись непосредственно на месте. Водные пробы фильтровались через целлюлозный фильтр, с размером пор 0,45 мкм, и собирались в пластиковые пробирки. Пробы для анализа содержаний в воде микро-компонентов, дополнительно консервировались путем добавления в них азотной кислоты и их определение выполнено с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500с (Agilent Technologies, Inc., USA). Химический анализ образцов термальных вод и микробных матов выполнен в Приморском центре локального элементного и изотопного анализа ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). Пробы термальных вод и образцы микробных матов для микробиологических исследований отбирали в стерильные стеклянные флаконы объемом 100 мл в трех повторностях в условиях стерильности. Отобранные пробы биологического материала до лаборатории хранили в холодильнике при температуре 4 °С. Часть проб микробных матов фиксировали сразу после отбора раствором глутаральдегида (конечная концентрация 2,5%) и хранили при температуре 4 °С до проведения дальнейшего микроскопического анализа.

Для изучения накопления элементов микробными матами пробы бактериальных матов высушивали в лабораторных условиях на воздухе при комнатной температуре и тщательно растирали в мелкодисперстный порошок для химического анализа. Для определения элементного состава микробных матов были выбраны методы атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), которые при tandemном использовании позволяют определить содержание матричных, малых и следовых элементов из одной навески исследуемого материала и оценить их распределение. Пробы анализируются

ли методом ICP-AES на спектрометре iCAP7600 Duo (Thermo Scientific Corporation, USA), методом ICP-MS – на спектрометре Agilent 7700x (Agilent Technologies, Japan).

Для изучения образования минералов в микробных матах пробы бактериальных матов сушили в лабораторных условиях и тщательно перетирали в агатовых ступках. Навеску образца (1 гр) помещали в кювету и снимали дифрактограммы. Интенсивность отражений оценивали из дифрактограмм по высоте пиков. Фазовый состав минералов определяли с помощью рентгено-фазового анализа на дифрактометре D-8 Advance, Bruker.

Результаты исследования показали, что микробные сообщества в процессе своей жизнедеятельности были способны накапливать различные элементы и формировать минералы. Был проанализирован большой спектр микроэлементов. Для описания накопления элементов микробными матами использован коэффициент биологического накопления, который считается одной из важнейших характеристик для морских гидробионтов и рассчитывается по формуле: $K_b = C_i/C_g$, где K_b – коэффициент биологического накопления, C_i – концентрация элемента в живой массе (микробный мат), C_g – концентрация элемента в воде (Лазарева и др., 2012). Применительно к гидробионтам считается, что элементы не концентрируются если $\lg K_b < 1$, относительно слабо накапливаются при $\lg K_b < 2$, в значительной степени накапливаются при $\lg K_b = 2-4$, сильно концентрируются если $\lg K_b > 4$. Используя аналогичный подход можно рассмотреть степень накопления элементов микробными матами гидротерм Камчатки. Результаты исследования показали, что микробные сообщества были способны накапливать высокие концентрации микроэлементов, количество которых превышало концентрацию их в воде в 15 (Li, Верхне-Паратунские термы) – 773900 раз (Co, Малкинские источники).

Микроэлементы, не накапливающиеся в микробных матах отсутствовали. Во всех изученных микробных матах меньше всего накапливались Li (1,17-2,22), Sr (2,11-2,79), Rb (2,61-3,12), Cs (2,88 – 2,98) и As (1,98-2,58), при этом значения коэффициента биологического накопления были довольно высоки, но являлись минимальными (рис. 1). В микробном мате Начикинских терм сильно концентрировались многие микроэлементы, в порядке возрастания концентрации которых их можно расположить в следующий ряд: Cd, Ga, Zn, Ba, Cr, U, Pb, Ni, Sc, Cu, Be, при этом коэффициент биологического накопления изменялся от 4,02 (Cd) до 4,77 (Be). Концентрация цинка в микробных матах изменялась в пределах 51000 – 139000 мкг/кг, при этом максимальные его значения наблюдали в мате Начикинских терм, коэффициент биологического накопления составил 4,28. Наиболее сильной концентрации в микробных матах Начикинских источников достигали кобальт (5,27) и ванадий (5,25), содержание которых составляло 8960 и 57500 мкг/кг соответственно и было выше чем в воде на пять порядков. Максимально высокие значения коэффициента биологического накопления для ванадия были отмечены в матах Начикинских источников. Такое высокое содержание ванадия в микробной биомассе можно объяснить тем, что элемент хорошо концентрируется многими живыми организмами и его высокие количества находят в захороненных и частично метаморфизированных остатках органического вещества. Также необходимо отметить довольно высокое содержание мышьяка в микробных матах Начикинских терм (54330 мкг/кг, в воде 140,2 мкг/л), при этом коэффициент биологического накопления был равен 2,58, что соответствует значительной степени накопления мышьяка в микробных матах Начикинских терм. В оранжевом микробном мате Малкинских термальных вод коэффициент биологического накопления варьировал от 2,33 (As) до 5,88 (Co), при этом микробным сообществом в значительной степени накапливались такие элементы как As, Rb, Li, Cs, Sr, Cd, Zn, сильно концентрировались Ga, Ba, Pb, Ag, Cu, U, V, Sc (рис. 1).

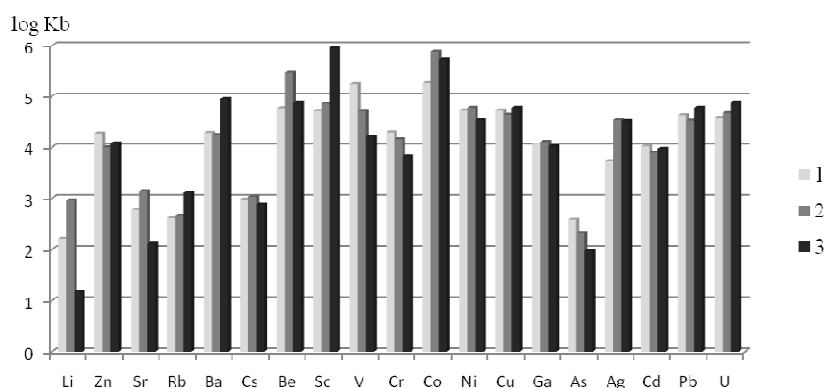


Рис. 1. Распределение коэффициента биологического накопления (Kb) микроэлементов в микробных матах Начикинских (1), Малкинских (2) и Верхне-Паратунских термальных источников (3).

Наиболее сильно накапливались в микробных матах бериллий (5,46) и кобальт (5,88), при этом их содержание в мате составляло 2470 мкг/кг, 9210 мкг/кг соответственно, тогда как в воде концентрация этих элементов была на пять-шесть порядков ниже. Максимально высокие количества лития, бериллия и кобальта были характерны для микробных сообществ Малкинского источника. В микробных матах Верхне-Паратунского термального источника относительно слабо накапливались Li (1,17) и As (1,98), в значительной степени концентрировались следующие элементы: Sr (2,11), Cs (2,88), Rb (3,12), Cr (3,83), Cd (3,97), сильно накапливались: Ga, Zn, V, Ag, Ni, Pb, U, Cu, Be, Ba (рис. 1). Чрезвычайно сильно накапливались в альго-бактериальных матах Верхне-Паратунского термального источника кобальт (4400 мкг/кг) и скандий (5580 мкг/кг), при этом коэффициенты биологического накопления составили 5,73 и 5,95 соответственно. Накопление урана (4,88), бария (4,95), кобальта (5,73) и скандия (5,95) было значительно выше в микробных матах Верхне-Паратунского источника чем в других исследованных матах источников Камчатки.

В микробных сообществах также происходили процессы биогенного минералообразования. По результатам рентгено-фазового анализа показано, что во всех изученных микробных сообществах происходило осаждение диоксида кремния в виде кварца, при этом его наиболее высокие количества были характерны для микробных матов Верхне-Паратунских, Малкинских и зеленого мата Начикинских источников (табл. 1). Также кремний отлагался в виде силикатов плагиоклаза и анортита. Плагиоклаз в средних количествах отмечен в микробных матах Начикинских и Верхне-Паратунских источников. Отложение анортита было зафиксировано только в зеленом мате Начикинских и Верхне-Паратунских терм, причем в средних количествах. Также формировался кальцит. Наиболее высокие его количества отмечены в зеленом мате Малкинских термальных вод, небольшие зарегистрированы в зеленом мате Начикинских, оранжевом мате Малкинских и зеленом мате Верхне-Паратунских терм (табл. 1).

Таблица 1

Состав минералов в микробных сообществах гидротерм Камчатки

Минералы:	Начикинские источники		Малкинские источники		Верхне-Паратунские источники
	Зеленый мат	Ярко-зеленый мат	Зеленый мат	Оранжевый мат	Зеленый мат
Кварц SiO_2	+++	++	+++	+++	+++
Плагиоклаз $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	++	++	-	-	++
Анортит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	++	-	+	-	-
Кальцит CaCO_3	+	-	+++	+	+
Магнетит Fe_2O_3	-	-	-	++	+

- отсутствие, + небольшие количества минерала, ++ средние, +++ высокие.

Необходимыми предпосылками для образования карбоната кальция является активная деятельность цианобактерий, которые в процессе своей жизнедеятельности могут повышать pH среды и поступление необходимого количества катиона Ca^{2+} . В зависимости от состава растворов и состояния микробного сообщества кальцит в той или иной мере вновь переходит в раствор или сохраняется. Осаждение карбонатов может быть обусловлено усиленным притоком минерализованных вод из глубины и резким изменением pH в зоне фотосинтеза. Прослой карбоната кальция, образованные в фотозоне, претерпевают ряд превращений, связанных с жизнедеятельностью микроорганизмов. С одной стороны, здесь возможна мобилизация Ca при образовании органических кислот первичными анаэробами, с другой – разложение органических кислот вторичными анаэробами, метаногенами и сульфидогенами может привести к новому отложению CaCO_3 (Будугаева и др., 2014). В микробных сообществах Верхне-Паратунских источников и в оранжевом микробном мате Малкинских термальных вод также отмечено осаждение магнетита в небольших и средних количествах. Известно, что биогенный магнетит обнаруживается в отложениях докембрия и может служить свидетельством геохимической деятельности микроорганизмов (Заварзин, 1993). В лабораторных экспериментах ранее доказано, что биогенный магнетит образуется в результате диссимиляционного процесса восстановления Fe(III) термофильными микроорганизмами (Слободкин и др., 2004). Таким образом, наиболее вероятно, что образование магнетита в микробных сообществах гидротерм Камчатки связано с деятельностью микроорганизмов.

Таким образом, полученные результаты показывают, что микробные сообщества термальных источников Камчатки играют важную роль в накоплении микроэлементов, а также в осаждении и растворении различных минералов.

Работа выполнена при поддержке проекта Российского научного фонда, проект РНФ №14-17-00415

Литература.

1. Будугаева В.Г., Бархутова Д.Д., Доржиева С.Г. Минералообразование в микробных матах термальных источников Байкальской рифтовой зоны // Вестник Бурятского государственного университета. 2014. № 3. С. 65-68.
2. Лазарева Е.В., Брянская А.В., Таран О.П., Тикунова Н.В., Жмодик С.М. Накопление элементов галофильными и термофильными циано-бактериальными сообществами (соленые озера Юга Западной Сибири, термальные источники Байкальской рифтовой зоны и Узон-гейзерной депрессии) // Современные проблемы геохимии: Материалы Всероссийского совещания, посвященного 95-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона. - Иркутск, 2012. - С. 167-170.
3. Заварзин Г.А. Проблемы доантропогенной эволюции биосферы. М.: Наука, 1993. С. 212-222.
4. Слободкин А.И., Чистякова Н.И., Русаков В.С. Высокотемпературная микробная сульфатредукция может сопровождаться образованием магнетита // Микробиология. 2004. Т. 73. С. 553-557.

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ РТУТЬСОДЕРЖАЩИХ ЛАМП

К.И. Сабанина, студентка, А.А. Муравская, студентка, О.Д. Лукашевич, д. т. н., профессор

Томский государственный архитектурно-строительный университет

634003, г. Томск, пл. Соляная.2. тел. (3822)-66-01-45

E-mail: odluk@yandex.ru

Аннотация. В статье проанализированы возможные причины ртутного загрязнения городской среды обитания. Выполнена экспериментально оценка степени экологической опасности со стороны потенциального ртутного загрязнения ряда аудиторий и вспомогательных помещений строительного вуза. Установлено, что эксплуатация и хранение ртутьсодержащих энергосберегающих ламп не представляет угрозу для здоровья сотрудников и студентов учреждения при соблюдении работниками электроцеха нормативных требований.

Abstract. The article analyzes the possible causes of mercury pollution of the urban habitat. The authors have experimentally estimated the ecological danger of the auditoriums of the Tomsk high school from the side of mercury contamination. Maintenance and storage of mercury-containing energy-saving lamps does not pose a threat to the health of employees and students, if the electricians comply with regulatory requirements.